

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

EDN: <https://elibrary.ru/vuskre>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-7-480-484>

УДК 613.648.2/613.6.02

© Коллектив авторов, 2022

Никитина В.Н., Калинина Н.И., Ляшко Г.Г., Дубровская Е.Н., Плеханов В.П.

Магнитные поля на рабочих местах при эксплуатации установок контактной точечной сварки

ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, ул. 2-я Советская, 4, Санкт-Петербург, 191036

Контактная сварка является одним из самых распространённых видов сварки. По технологическому способу получения соединений контактная сварка может быть точечной, рельефной, стыковой, шовной. Точечная контактная сварка отличается высокой производительностью и применяется гораздо чаще, чем другие виды сварки. Образование неразъёмных соединений материалов происходит в результате нагрева электрическим током и деформирования при сжатии. Разогрев изделия производится импульсами переменного, постоянного или униполярного тока промышленной частоты 50 Гц. На рабочем месте сварщика регистрируются неблагоприятные факторы, оказывающие влияние на здоровье — высокая температура, брызги и пары металлов, импульсные магнитные поля (ИМП) промышленной частоты 50 Гц. Цель исследования — изучение уровней импульсных магнитных полей промышленной частоты 50 Гц на рабочих местах при эксплуатации установок контактной точечной сварки.

Исследование включало изучение технологии контактной точечной сварки, проведение инструментальных измерений и гигиеническую оценку уровней ИМП промышленной частоты 50 Гц на рабочих местах сварщиков при эксплуатации оборудования в штатном режиме. Инструментальные измерения уровней ИМП выполнены милитесламетром ТП2-2У при эксплуатации трех моделей сварочных полуавтоматов на базе установок точечной сварки. Измеренные уровни индукции магнитных полей пересчитывались на максимальный рабочий ток (I_{max}), возможный при технологическом процессе.

Инструментальные измерения показали, что напряжённость магнитного поля на рабочих местах сварщиков зависела от типа установки, расстояния от источника излучения, локализации воздействия, сварки конкретных изделий. Наибольшие уровни магнитных полей были зарегистрированы в области руки и составляли от 1096,0 до 5512,0 А/м. При максимальном рабочем токе напряжённость магнитного поля может достигать 13 678,0–11 024,0 А/м.

Исследование показало, что интенсивность импульсных магнитных полей промышленной частоты 50 Гц на рабочих местах может превышать предельно допустимые уровни. Для защиты работников требуется ограничение времени воздействия магнитных полей.

Ограничения исследования. Исследования носят предварительный характер и имеют ограничения по объёму исследования.

Ключевые слова: импульсные магнитные поля частотой 50 Гц; контактная точечная сварка; измерения

Для цитирования: Никитина В.Н., Калинина Н.И., Ляшко Г.Г., Дубровская Е.Н., Плеханов В.П. Магнитные поля на рабочих местах при эксплуатации установок контактной точечной сварки. *Мед. труда и пром. экол.* 2022; 62(7): 480–484. <https://elibrary.ru/vuskre> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-7-480-484>

Для корреспонденции: Никитина Валентина Николаевна, заведующая отделением изучения электромагнитных излучений ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», доктор медицинских наук. E-mail: v.nikitina@s-znc.ru

Участие авторов:

Никитина В.Н. — концепция и дизайн исследования, написание текста;

Калинина Н.И. — сбор и обработка данных, редактирование;

Ляшко Г.Г. — сбор и обработка данных, редактирование;

Дубровская Е.Н. — сбор и обработка данных, редактирование;

Плеханов В.П. — сбор и обработка данных.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 07.07.2022 / Дата принятия к печати: 15.07.2022 / Дата публикации: 15.08.2022

Valentina N. Nikitina, Nina I. Kalinina, Galina G. Lyashko, Ekaterina N. Dubrovskaya, Vladimir P. Plekhanov

Magnetic fields in the workplace during the operation of contact spot welding installations

North-West Public Health Research Center, 4, 2-ya Sovetskaya str., St. Petersburg, 191036

Contact welding is one of the most common types of welding. According to the technological method of obtaining joints, contact welding can be spot, relief, butt, suture. Spot contact welding has a high productivity. Specialists use spot welding more often than other types of welding. The formation of permanent joints of materials occurs as a result of electric heating and deformation during compression. Workers warm up the products with pulses of alternating, direct or unipolar current of industrial frequency 50 Hz. Researchers have registered adverse factors at the welder's workplace that have an impact on health. These are high temperature, splashes and metal vapors, pulsed magnetic fields (PMF) of industrial frequency 50 Hz. The study aims to explore the levels of pulsed magnetic fields of industrial frequency of 50 Hz at workplaces during the operation of contact spot welding installations.

The study included the study of the technology of contact spot welding, instrumental measurements and hygienic assessment of the levels of PMF of the industrial frequency of 50 Hz at the welders' workplaces during the operation of equipment

in normal mode. Specialists have performed instrumental measurements of PMF levels with a TP2-2U milliteslameter during operation of three models of semi-automatic welding machines based on spot welding installations. The researchers recalculated the measured levels of magnetic field induction to the maximum operating current ($I_{\max}$) possible during the technological process.

Instrumental measurements showed that the magnetic field strength at the welders' workplaces depended on the type of installation, the distance from the radiation source, the localization of exposure, and welding of specific products. Experts registered the highest levels of magnetic fields in the arm area from 1096.0 to 5512.0 A/m. At the maximum operating current, the magnetic field strength can reach 13 678.0–11 024.0 A/m.

The study showed that the intensity of pulsed magnetic fields of industrial frequency 50 Hz in the workplace can exceed the maximum permissible levels. To protect workers, it is necessary to limit the time of exposure to magnetic fields.

Limitations. The studies are preliminary in nature and have limitations on the scope of the study.

Keywords: *pulsed magnetic fields with a frequency of 50 Hz; contact spot welding; measurements*

For citation: Nikitina V.N., Kalinina N.I., Lyashko G.G., Dubrovskaya E.N., Plekhanov V.P. Magnetic fields in the workplace during the operation of contact spot welding installations. *Med. truda i prom. ekol.* 2022; 62(7): 480–484. <https://elibrary.ru/vuskre> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-7-480-484> (in Russian)

For correspondence: Valentina N. Nikitina, the Head of the Department for the study of electromagnetic radiation, North-Western Scientific Center for Hygiene and Public Health, Dr. of Sci. (Med.). E-mail: v.nikitina@s-znc.ru

Information about the authors: Nikitina V.N. <https://orcid.org/0000-0001-8314-2044>
 Kalinina N.I. <https://orcid.org/0000-0001-9475-0176>
 Lyashko G.G. <https://orcid.org/0000-0002-4832-769X>
 Dubrovskaya E.N. <https://orcid.org/0000-0003-4235-378X>
 Plekhanov V.P. <https://orcid.org/0000-0002-8141-7179>

Contribution:

Nikitina V.N. — concept and design of the study, writing the text;

Kalinina N.I. — data collection and processing, editing;

Lyashko G.G. — data collection and processing, editing;

Dubrovskaya E.N. — data collection and processing, editing;

Plekhanov V.P. — data collection and processing.

Funding. The study had no funding.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 07.07.2022 / Accepted: 15.07.2022 / Published: 15.08.2022

Сварка является одним из ведущих технологических процессов обработки металлов. Существует большое количество видов и способов сварочных процессов. Контактная сварка занимает первое место среди других видов сварки и является самым распространённым и широко применяемым видом в промышленном серийном производстве для изготовления широкого спектра изделий — от крупногабаритных конструкций до полупроводниковых устройств и плёночных микросхем. Она применяется в промышленности, строительстве при ремонтных работах для стыковки деталей, получения соединений различных конструкционных материалов. При контактной сварке образование неразъёмных соединений материалов происходит в результате нагрева электрическим током и деформирования при сжатии. Разогрев изделия производится импульсами переменного, постоянного или униполярного тока промышленной частоты 50 Гц [1]. Изучению условий труда и вредных производственных факторов на рабочих местах сварщиков посвящён ряд работ [2–5]. При работе со сварочным оборудованием на работающего воздействует целый ряд неблагоприятных факторов — электрический ток и высокие температуры, брызги и пары металлов, импульсные магнитные поля (ИМП) промышленной частоты 50 Гц, которые могут оказывать влияние на сердечно-сосудистую, нервную, эндокринную и другие системы организма [6–11]. Авторы отмечают повышенную частоту развития у сварщиков онкологических заболеваний, риск развития опухолей эндокринных желёз, почек, желчевыводящих путей, печени, рака лёгкого [12–15]. При гигиенической оценке магнитных полей на рабочих местах при различных видах сварки недостаточное внимание уделялось изучению воздействия ИМП частотой 50 Гц при проведении контактной точечной сварки.

Цель исследования — изучение уровней импульсных магнитных полей промышленной частоты 50 Гц на рабо-

чих местах при эксплуатации установок контактной точечной сварки.

Исследование включало изучение технологии точечной контактной сварки. В условиях производства проведены изучение технологического процесса, анализ технических характеристик и импульсных режимов генерации установок контактной сварки, а также размещения рабочих мест и продолжительности воздействия ИМП. Инструментальные исследования уровней ИМП промышленной частоты 50 Гц выполнены при эксплуатации трех моделей сварочных полуавтоматов на базе установок точечной сварки «Cemsa» модели *Atlas 14*, *Weltrol/SW3 6 EDX*, *MT-2201*. Для инструментальных измерений использован милитесламетр TP2-2У (диапазон измерений 0,1–1999,0 мТл). Для контроля параметров микроклимата использовался прибор метеометр МЭС-200А. Приборы включены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. Средства измерений имели действующие свидетельства о поверке. Измерения импульсных магнитных полей промышленной частоты 50 Гц на рабочих местах выполнялись на трех уровнях от пола (на высотах 0,5, 1,0 и 1,7 м), а также в области рук при работе оборудования в штатном режиме при рабочей токовой нагрузке, соответствующей технологическим требованиям сварки конкретных изделий. В каждой точке проводились трёхкратные измерения, определяющим являлось максимальное значение. Измеренные уровни индукции магнитных полей пересчитывались на их значения при максимальном рабочем токе ($I_{\max}$) путём умножения измеренных значений на отношение $I_{\max}/I$, где I — ток электроустановки при проведении измерений. Более высокие значения тока могут иметь место в технологических процессах сварки других изделий. Оценка интенсивности ИМП проводилась по предельно допустимым уровням (ПДУ), соответствующим длительности и частоте следования импульсов

I режима генерации, указанного в СанПиН 1.2.3685-21¹. Для гигиенической оценки уровней индукции магнитного поля переведены в напряжённость магнитного поля.

Изучение технологических процессов показало, что контактная сварка имеет свои преимущества и ограничения. Способы сварки различны, что увеличивает функциональность метода. По технологическому способу получения соединений контактная сварка может быть точечной, рельефной, стыковой, шовной. Используются сварочные агрегаты разного исполнения — подвесные (клещи), передвижные, стационарные. Контактная сварка позволяет обеспечить высокую производительность труда (1 точка — 0,02–1,0 сек.), поэтому применяется на поточном производстве. Классифицируют также контактную сварку по способу подвода тока; по роду сварочного тока и форме импульса тока (переменный, постоянный, униполярный с переменной силой в течение импульса); по конструкции соединения (нахлесточное, стыковочное); по состоянию металла в зоне сварки; по числу одновременно выполняемых соединений (одноточечная, многоточечная) и т. д. При контактной точечной сварке две плоскости соединяются отдельными точечными касаниями, равными по площади сечению электродов, которые одновременно работают на сжатие и являются источником тока. При этом используется электрический ток высокого напряжения, который преобразуется в месте соединения в тепловую энергию и вместе с оказываемым на поверхности давлением обеспечивает появление надёжного соединения. Сварочное соединение происходит при разогреве металла под воздействием электрического тока. Электроды, между которыми при сварке проходит ток, изготавливают из материалов с хорошей электропроводимостью для уменьшения сопротивления контакта детали и электрода. Ток к деталям подводится через электроды, и в местах контакта материала и электродов создаётся высокая температура, при которой точно расплавляется металл и образуется сварочное ядро диаметром от нескольких миллиметров до 1,5–2,0 сантиметров. Нагрев происходит за счёт импульса, образующегося сварочным током. В сжатых деталях происходит диффузия материалов. При выключении тока точка остывает и материал кристаллизуется.

Сварочный цикл может иметь одноточечный или многоточечный методы точек соединения, которые могут достигать 600 соединений в одну минуту. Прочность скре-

пления зависит от площади точечной поверхности, силы сварочного тока и времени воздействия на детали, а также от усилия сжатия сварной зоны. В технологическом процессе разогрев производится импульсами переменного, постоянного или униполярного тока, используется ток с большой силой до 10,0–15,0 кА и низким напряжением 1,0–3,0 В. При точечной сварке используются два режима — мягкий и жёсткий. Для мягких режимов характерны большая продолжительность времени сварки, малая сила тока при плотности тока до 100,0 А/мм², плавный нагрев сварочной точки, малая закалка зоны сварки и низкое потребление мощности. При жёстких режимах плотность тока для сварки составляет 100,0–300,0 А/мм², создаётся мощный электрический импульс, увеличивается мощность, за счёт сокращения времени сварки увеличивается производительность труда [16–20].

Настоящее исследование посвящено оценке ИМП частотой 50 Гц на рабочих местах сварщиков при эксплуатации установок контактной точечной сварки. В производственных условиях было проведено изучение технологического процесса, анализ технических характеристик установок контактной сварки, варианты размещения рабочих мест, продолжительности воздействия ИМП за рабочую смену и проведён инструментальный контроль уровней ИМП. Измерения на рабочих местах сварщиков выполнены при эксплуатации трех установок: сварочных полуавтоматов «Cemsa» модели Atlas 14, «Cemsa» модель Weltered/SW3 6 EDX и установки МТ-2201 при выполнении технологических операций по сварке кронштейнов, кожухов и других изделий в момент прохождения сварочного тока.

В **таблице 1** представлены максимальные значения уровней импульсных магнитных полей на рабочих местах на различных расстояниях от источников, при эксплуатации установок в штатном режиме, при рабочей нагрузке, соответствующей технологическим требованиям сварки изделий.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21, предельно допустимые уровни импульсных магнитных полей частотой 50 Гц в первом режиме генерации составляют для ≤8-ми часового рабочего дня 1400,0 А/м, для продолжительности воздействия ≤1,0 часа — 6000 А/м. Как следует из **таблицы 1**, при эксплуатации двух установок зарегистрированы уровни ИМП, превышающие ПДУ, установленные для 8-ми часового рабочего дня. В **таблице 2** представлены пересчитанные значения напряжённости поля при максимальном рабочем токе.

При более высоких значениях тока уровни напряжённости импульсных магнитных полей на рабочих местах

Таблица 1 / Table 1

Максимальные уровни напряжённости импульсных магнитных полей частотой 50 Гц на рабочих местах сварщиков при эксплуатации установок контактной точечной сварки

Maximum intensity levels of pulsed magnetic fields with a frequency of 50 Hz at welders' workplaces during the operation of contact spot welding installations

Точка измерения	Напряжённость импульсных магнитных полей частотой 50 Гц (А/м)			Высота измерения от поверхности пола (м)
	«Cemsa» модель Atlas 14	«Cemsa» модель Weltered/SW3 6 EDX	МТ-2201	
x1	568,0	1752,0	1112,0	0,5
	659,0	1752,0	464,0	1,0
	328,0	1344,0	320,0	1,7
x2	1096,0	1544,0	5512,0	в области кистей рук

Таблица 2 / Table 2

Уровни напряжённости импульсных магнитных полей 50 Гц на рабочих местах сварщиков при пересчёте на максимальный рабочий ток**The intensity levels of pulsed magnetic fields of 50 Hz at the welders' workplaces when converted to the maximum operating current**

Точка измерения	Напряжённость импульсных магнитных полей частотой 50 Гц (А/м)			Высота измерения от поверхности пола (м)
	«Cemsa» модель Atlas 14	«Cemsa» модель Weltered/SW3 6 EDX	MT-2201	
x1	712,0	2064,0	2224,0	0,5
	820,0	2064,0	928,0	1,0
	408,0	1584,0	640,0	1,7
x2	1368,0	1824,0	11024,0	в области кистей рук

при эксплуатации установок «Cemsa» модель Weltered/SW3 6 EDX и MT-2201 во всех измеренных точках (на всех уровнях) превышали установленные ПДУ для 8-часового рабочего дня.

В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21, нормирование импульсных магнитных полей частотой 50 Гц на рабочих местах осуществляется в зависимости от продолжительности воздействия за рабочую смену и характеристики импульсных режимов генерации. Документом установлены уровни напряжённости импульсных магнитных полей для каждого часа восьмичасового рабочего дня для трех режимов генерации в зависимости от длительности импульса. Анализ результатов измерений уровней ИМП показывает, что на рабочих местах при эксплуатации установок контактной точечной сварки интенсивность импульсных магнитных полей на рабочих местах зависит от типа установки, расстояния от источника излучения. Значения ИМП зависят от токовой нагрузки при сварке разнообразных промышленных изделий. В нашем исследовании при эксплуатации установок на максимальном рабочем токе допустимое время воздействия ИМП на рабочем месте со-

ставляет: при работе установки «Cemsa» модель Weltered/SW3 6 EDX — 6 часов; установки MT 220 — ≤1,0 часа.

Ограничения исследования. Исследования носят предварительный характер и имеют ограничения по объёму исследования.

Заключение. Точечная контактная сварка отличается высокой производительностью и применяется гораздо чаще, чем другие виды сварки. Данная технология широко используется в приборостроении, автомобилестроении, самолётостроении, судостроении, машиностроении и других отраслях промышленности. Результаты исследования показали, что на рабочих местах сварщиков при эксплуатации установок контактной точечной сварки регистрируются импульсные магнитные поля промышленной частоты 50 Гц, уровни которых могут превышать предельно допустимые значения. В настоящее время защита временем является основным организационным мероприятием по снижению неблагоприятного воздействия ИМП на организм сварщиков. Однако, необходима разработка технических решений по снижению уровней ИМП на рабочих местах.

Список литературы

- Брежнева А.Н., Яночкин В.А. Контактная сварка и её основные способы. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2018; 1(14): 414–6.
- Левченко О.Г., Левчук В.К. Безопасный уровень напряжённости электромагнитного поля при контактной сварке. *Автоматическая сварка*. 2008; 5: 46–55.
- Пачурин Г.В., Трунова И.Г., Марков А.С., Филиппов А.А., Курагина Т.И. Профессиональный риск и условия труда на участке сборки и монтажа микросхем. *Техносферная безопасность, надёжность, качество энерго- и ресурсосбережение. Материалы 21 Международной научно-практической конференции*. Ростов-на-Дону; 2019: 268–79.
- Игнатова А.М., Чудинова Я.Н. Методы моделирования и прогнозирования загрязнённости воздуха зоны дыхания сварщика и помещения производства сварочных работ. *Химия. Экология. Урбанистика*. 2019; 1: 102–6.
- Финоченко Т.А., Соколова Г.Н., Гребенникова С.О. Идентификация вредных и опасных производственных факторов рабочего места сварщика. *Учебные записки Крымского инженерно-педагогического университета*. 2018; 2(60): 239–46.
- Jiin-Chyuan J.L., Kuang-Hung H., Wu-Shiun S. Pulmonary function abnormalities and airway irritation symptoms of metal fumes exposure on automobile spot welders. *Am J Ind Med*. 2006; 49(6): 407–16. <https://doi.org/10.1002/ajim.20320>
- Jönsson L., Tinnerberg H., Jacobsson H., Andersson U., Axmon A., Nielsen J. The ordinary work environment increases symptoms from eyes and airways in mild steel welders. *Int Arch Occup Environ Health*. 2015; 88(8): 1131–40. <https://doi.org/10.1007/s00420-015-1041-2>
- Cosgrove M.P. Pulmonary fibrosis and exposure to steel welding fume. *Occup Med (Lond)*. 2015; 65(9): 706–12. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqv093>
- Sharifian S.A., Loukzadeh Z., Shojaoddiny-Ardekani A., Aminian O. Pulmonary adverse effects of welding fume in automobile assembly welders. *Acta Medica Iranica*. 2011; 49(2): 98–102.
- Villarini M., Dominici L., Fatigoni C., Levorato S., Vannini S., Monarca S. et al. Primary DNA damage in welders occupationally exposed to extremely-low-frequency magnetic fields (ELF-MF). *Ann Ig*. 2015; 27(3): 511–519. <https://doi.org/10.7416/ai.2015.2041>
- Dominici L., Villarini M., Fatigoni C., Monarca S., Moretti M. Genotoxic hazard evaluation in welders occupationally exposed to extremely low-frequency magnetic fields (ELF-MF). *Int J Hyg Environ Health*. 2011; 215(1): 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.07.010>
- Håkansson N., Stenlund C., Gustavsson P., Johansen C., Floderus B. Arc and resistance welding and tumours of the endocrine glands: a Swedish case-control study with focus on extremely low frequency magnetic fields. *Occup Environ Med*. 2005; 62(5): 304–308. <https://doi.org/10.1136/oem.2004.015479>
- Håkansson N., Floderus B., Gustavsson P., Johansen C., Olsen J. Cancer incidence and magnetic field exposure in industries

- using resistance welding in Sweden. *Occup Environ Med.* 2002; 59(7): 481–6. <https://doi.org/10.1136/oem.59.7.481>
14. Paren M., Turner M., Lavoué J., Richard H., Figuerola J., Kincl L. et al. Lifetime occupational exposure to metals and welding fumes, and risk of glioma: a 7-country population-based case-control study. *Environ Health.* 2017; 16(1): 90. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0300-y>
 15. Matrat M., Guida F., Mattei F., Cénée S., Cyr D., Févotte J. et al. Welding, a risk factor of lung cancer: the ICARE study. *Occup Environ Med.* 2016; 73(4): 254–61. <https://doi.org/10.1136/oemed-2015-102964>
 16. Левченко О.Г., Гончарова О.Н., Левчук В.К., Дудан А.В. Влияние режима контактной точечной сварки на уровень магнитного поля в рабочей зоне сварщика. *Вестник Полоцкого государственного университета.* 2013; 3: 86–90.
 17. Климов С.С. Новейшая технология точечной сварки SpotArc. *Сборник трудов конференции «Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова».* Белгород; 2015: 1363–7.
 18. Алешин К.Г. Контактная сварка. Старт в науку: актуальные вопросы техники и технологий. *Сборник материалов IV Ежегодной научной конференции студентов среднего профессионального образования Технологического университета.* М.; 2019: 78–81.
 19. Долгих И.Ю., Туренкова Е.Н. Исследование электромагнитных и температурных процессов индукционного нагрева при точечной сварке. *Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева.* 2019; 1(48): 47–53.
 20. Абдулхаликов И.М., Бочаров К.М., Круглова О.А., Зоркин А.Я., Куц Л.Е. Моделирование процесса точечной сварки. Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении. *Сборник научных статей 4-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием.* Курск; 2019: 15–7.
- ### References
1. Brezhneva A.V., Yanochkin V.A. The contact welding and its main ways. *Actual problems of aviation and cosmonautics.* 2018; 1(14): 414–6 (in Russian)
 2. Levchenko O.G., Levchuk V.K. Safe level of electromagnetic field intensity during contact welding. *Automatic welding.* 2008; 5: 46–55 (in Russian)
 3. Pachurin G.V., Trunova I.G., Markov A.S., Filippov A.A., Kuragina T.I. Professional risk and labor conditions at the site of Assembly and installation of microcircuits. *Technosphere safety, reliability, quality of energy and resource conservation. Materials of the 21st International Scientific and Practical Conference.* Rostov-on-Don; 2019: 268–79 (in Russian)
 4. Ignatov A.M., Chudinova Ya.N. Methods of modeling and forecasting the air pollution of the air of a welder zone of a welder and a room for the manufacture of welding works. *Chemistry. Ecology. Urbanistics.* 2019; 1: 102–6 (in Russian).
 5. Finochenko T.A., Sokolova G.N., Grebennikova O.S. Identification of harmful and hazardous production factors the workplace welder. *Scientific notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University.* 2018; 2(60): 239–46 (in Russian)
 6. Jiin-Chyuan J.L., Kuang-Hung H., Wu-Shiun S. Pulmonary function abnormalities and airway irritation symptoms of metal fumes exposure on automobile spot welders. *Am J Ind Med.* 2006; 49(6): 407–16. <https://doi.org/10.1002/ajim.20320>
 7. Jönsson L., Tinnerberg H., Jacobsson H., Andersson U., Axmon A., Nielsen J. The ordinary work environment increases symptoms from eyes and airways in mild steel welders. *Int Arch Occup Environ Health.* 2015; 88(8): 1131–40. <https://doi.org/10.1007/s00420-015-1041-2>
 8. Cosgrove M.P. Pulmonary fibrosis and exposure to steel welding fume. *Occup Med (Lond).* 2015; 65(9): 706–12. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqv093>
 9. Sharifian S.A., Loukazadeh Z., Shojaoddiny-Ardekani A., Aminian O. Pulmonary adverse effects of welding fume in automobile assembly welders. *Acta Medica Iranica.* 2011; 49(2): 98–102.
 10. Villarini M., Dominici L., Fatigoni C., Levorato S., Vannini S., Monarca S. et al. Primary DNA damage in welders occupationally exposed to extremely-low-frequency magnetic fields (ELF-MF). *Ann Ig.* 2015; 27(3): 511–519. <https://doi.org/10.7416/ai.2015.2041>
 11. Dominici L., Villarini M., Fatigoni C., Monarca S., Moretti M. Genotoxic hazard evaluation in welders occupationally exposed to extremely low-frequency magnetic fields (ELF-MF). *Int J Hyg Environ Health.* 2011; 215(1): 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.07.010>
 12. Håkansson N., Stenlund C., Gustavsson P., Johansen C., Floderus B. Arc and resistance welding and tumours of the endocrine glands: a Swedish case-control study with focus on extremely low frequency magnetic fields. *Occup Environ Med.* 2005; 62(5): 304–308. <https://doi.org/10.1136/oem.2004.015479>
 13. Håkansson N., Floderus B., Gustavsson P., Johansen C., Olsen J. Cancer incidence and magnetic field exposure in industries using resistance welding in Sweden. *Occup Environ Med.* 2002; 59(7): 481–6. <https://doi.org/10.1136/oem.59.7.481>
 14. Paren M., Turner M., Lavoué J., Richard H., Figuerola J., Kincl L. et al. Lifetime occupational exposure to metals and welding fumes, and risk of glioma: a 7-country population-based case-control study. *Environ Health.* 2017; 16(1): 90. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0300-y>
 15. Matrat M., Guida F., Mattei F., Cénée S., Cyr D., Févotte J. et al. Welding, a risk factor of lung cancer: the ICARE study. *Occup Environ Med.* 2016; 73(4): 254–61. <https://doi.org/10.1136/oemed-2015-102964>
 16. Levchenko O.G., Goncharova O.N., Levchuk V.K., Dudan A.V. Influence of the contact spot welding mode on the level of the magnetic field in the welder's working area. *Bulletin of Polotsk State University.* 2013; 3: 86–90 (in Russian)
 17. Klimov S.S. The latest spot-welding technology Spotarc. *Proceedings of the conference "International Scientific and Technical Conference of Young scientists of V.G. Shukhov BSTU".* Belgorod; 2015: 1363–7 (in Russian)
 18. Aleshin K.G. Contact welding. Start in science: current issues of engineering and technology. *Collection of materials of the IV Annual Scientific Conference of students of secondary vocational education of the Technological University.* Moscow; 2019: 78–81 (in Russian)
 19. Dolgikh I.Yu., Tyurenkova E.N. Investigation of electromagnetic and temperature processes of induction heating during spot welding. *Bulletin of the Rybinsk State Aviation Technological Academy named after P.A. Solov'yov.* 2019; 1(48): 47–53 (in Russian).
 20. Abdulkhalikov I.M., Bocharov K.M., Kruglova O.A., Zorkin A.Ya., Kutz L.E. Modeling of spot-welding process. Prospects for the development of processing technologies and equipment in mechanical engineering. *Collection of scientific articles of the 4th All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation.* Kursk; 2019: 15–7 (in Russian)